

Новый полумост 2500 А/1200 В

компании Mitsubishi Electric

Существующие модули серии MPD (Mega Power Dual), включающие полумосты 1400 А/1200 В, созданы для применения в мощных промышленных преобразователях. Но развитие возобновляемой энергетики (солнечной, ветряной) требует создания более мощных систем. В ответ на эти запросы рынка была разработана новая серия мощных полумостов, вобравшая в себя как все лучшее от серии MPD, так и новейшие инновационные технологии Mitsubishi Electric, что позволило создать изделие мощностью 2500 А/1200 В.

**Ауми Мурата
(Aumi Maruta),
Мицухару Табата
(Mitsuharu Tabata)
Роман Фукалов**

Структура

Расположение силовых выводов

Внешний вид модуля представлен на рис. 1. Выводы для подключения шины постоянного тока расположены с одной стороны модуля, а выход полумоста — с противоположной. Такой дизайн в общем случае упрощает конструирование преобразователя. Управляющие выводы расположены в центральной части модуля, что позволяет установить плату драйвера непосредственно на модуле. Кроме того, такое расположение управляющих выводов облегчает проводное соединение драйвера, если он размещен отдельно.

Структура основания модуля

Чем больше становится основание модуля, тем сложнее обеспечить хороший контакт между ним и радиатором охлаждения. Для решения этой проблемы в данном модуле применен принципиально новый подход (рис. 2): основание не является единым целым, а собрано из нескольких секций (рис. 3). Такая структура лучше прилегает к радиатору охлаждения, что положительным образом сказывается на тепловом сопротивлении корпус-радиатор.

Суммарные потери в инверторах при максимальной мощности могут составить более 5 кВт. В таких случаях обычно применяется жидкостное охлаждение, при котором температура корпуса модуля меняется быстрее, чем в случае воздушного охлаждения.



Рис. 1. Внешний вид модуля

Поэтому необходима высокая стойкость к термоциклам и высокая способность к рассеиванию тепла.

Выбранный размер базовой пластины новых модулей 2500 А/1200 В обеспечивает необходимое рассеивание тепла. Для решения задачи повышения устойчивости к термоциклам применена новая технология, обеспечивающая непосредственное соединение между алюминиевым основанием модуля и изоляционной керамикой (рис. 5). Слабым звеном в стандартной (рис. 4) структуре является слой припоя между основанием и изоляционной керамикой. При термоциклировании данный слой подвержен

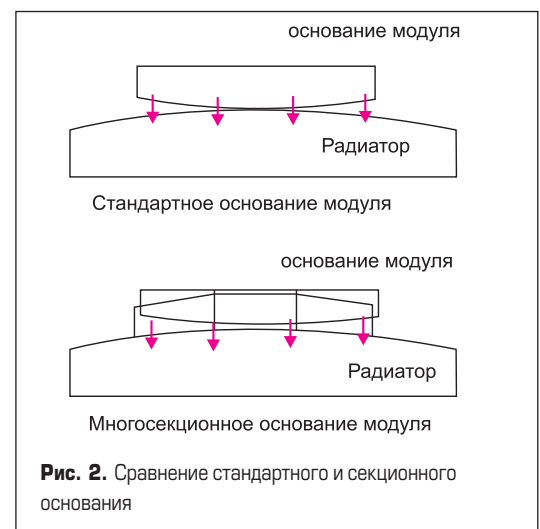


Рис. 2. Сравнение стандартного и секционного основания



Рис. 3. Структура секционного основания

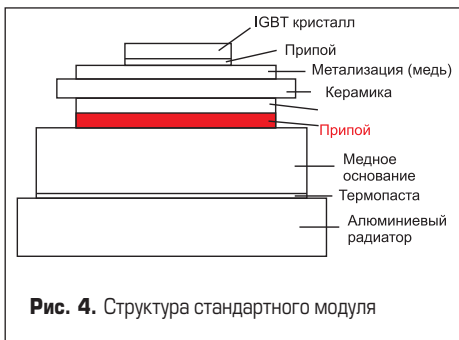


Рис. 4. Структура стандартного модуля

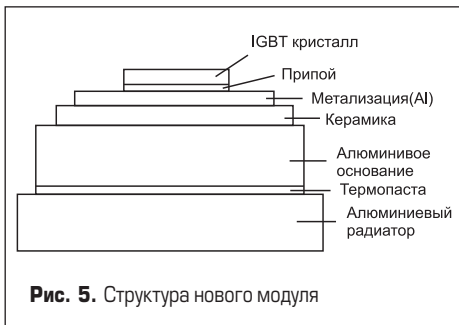


Рис. 5. Структура нового модуля

разрушению, что приводит к увеличению теплового сопротивления модуля $R_{th(j-c)}$ и последующему его выходу из строя.

На рис. 6 и 7 показаны результаты теплового моделирования новой алюминиевой и старой медной структур. Алюминий по своей природе имеет большее тепловое сопротивление, но благодаря исключению слоя припоя тепловое сопротивление модулей на медном и алюминиевом основаниях практически идентичны.

Расположение кристаллов

Расположение кристаллов играет важную роль при проектировании модуля, так как от этого зависит его способность к рассеиванию тепла. С помощью моделирования было определено необходимое расстояние между кристаллами, при котором их тепловое взаимодействие минимально. На рис. 8 показана структура данной модели. На рис. 9 приведены результаты моделирования разницы температур между кристаллом и охлаждающей жидкостью при тепловыделении на кристалле 200 Вт/кристалл. Очевидно, что 30-мм расстояние между кристаллами является достаточным для жидкостного охлаждения.

Для лучшей эффективности каналы, по которым движется охлаждающая жидкость, должны проходить непосредственно под кристаллами. Крепежные отверстия на основании

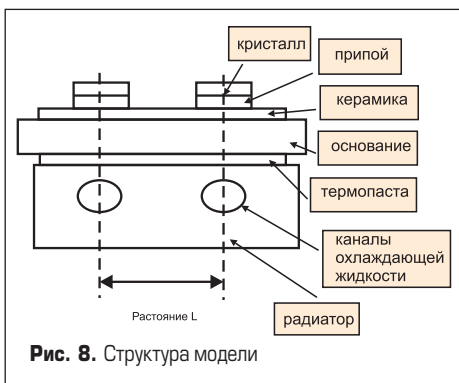


Рис. 8. Структура модели

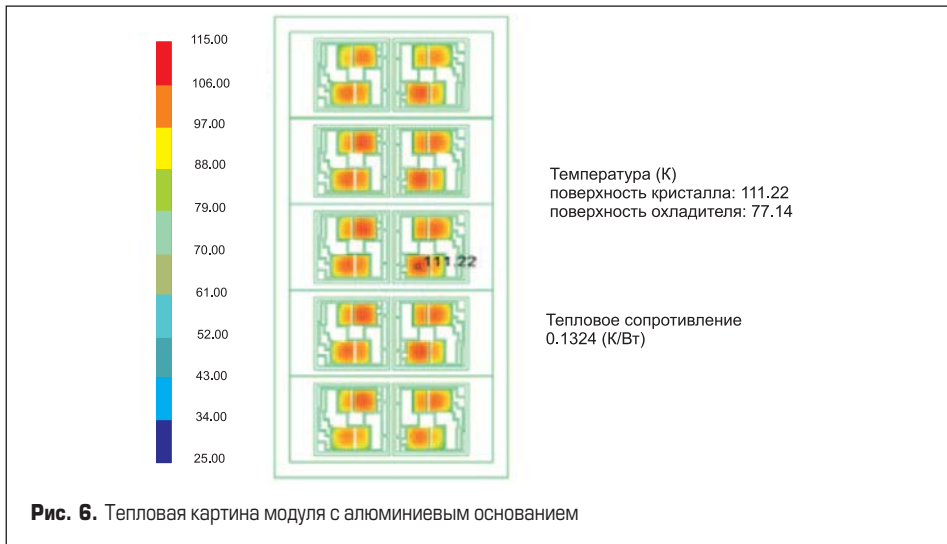


Рис. 6. Тепловая картина модуля с алюминиевым основанием

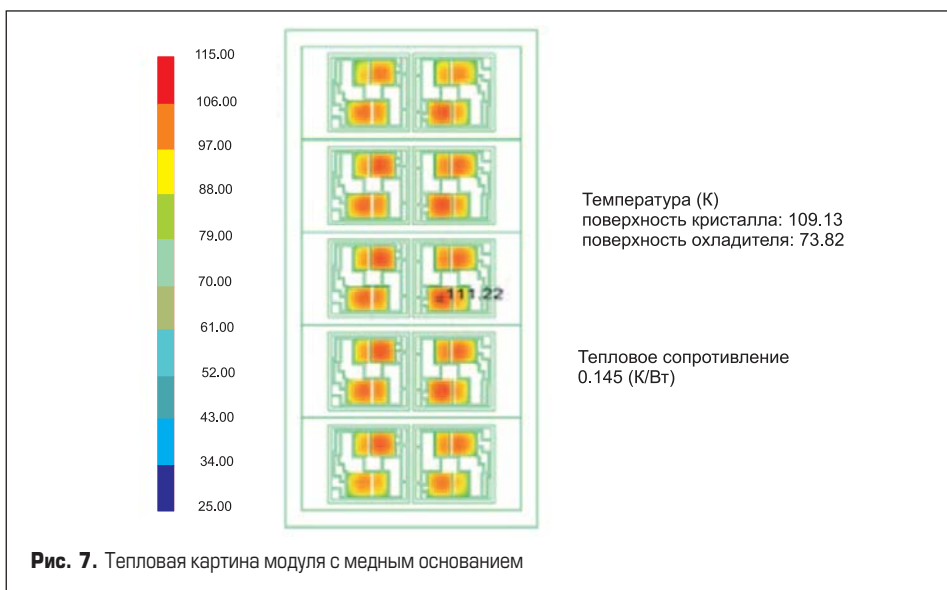


Рис. 7. Тепловая картина модуля с медным основанием

расположены так, чтобы не создавать помех для жидкостного охлаждения (рис. 10).

Структура силовых выводов

При увеличении токов нагрузки важно, чтобы индуктивность шины была минимальной (для снижения выбросов перенапряжения), но увеличение токов влечет за собой увеличение длины внутренней разводки и, соответственно, повышение индуктивности. Для решения этой проблемы необходимо использовать многослойную шину как можно большей ширины. Но ширина шины, в свою очередь, ограничена пространством внутри

модуля. В данном модуле применена новая 4-слойная шина (рис. 11).

При разработке шины была поставлена цель добиться индуктивности 3 нГн или

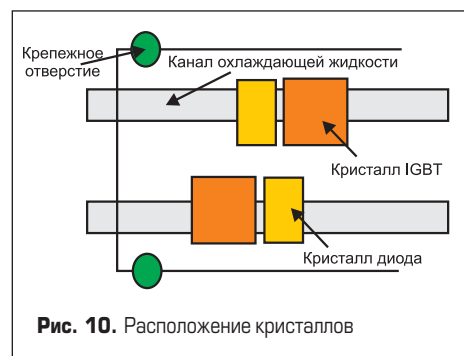


Рис. 10. Расположение кристаллов

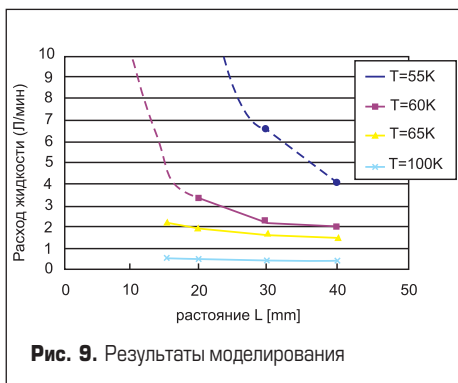


Рис. 9. Результаты моделирования



Рис. 11. Многослойная шина

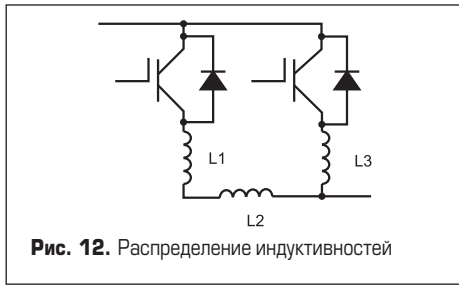


Рис. 12. Распределение индуктивностей

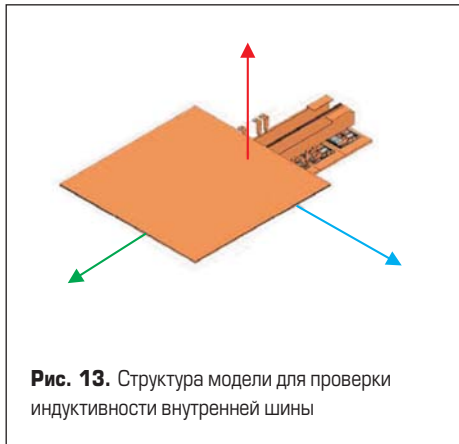


Рис. 13. Структура модели для проверки индуктивности внутренней шины

менее. Для достижения этого значения при помощи 2-слойной шины необходимо, чтобы ее ширина составила не менее 50 мм, что проблематично в корпусе с выбранными габаритами. Таким образом, при использовании 2-слойной шины невозможно достичь требуемой индуктивности (рис. 12). Путем моделирования был выбран 4-слойный вариант, продемонстрировавший (при проектировании) индуктивность 2,59 нГн при 1 МГц.

Еще одним положительным моментом уменьшения индуктивности шины является улучшение распределения тока между кристаллами. Значение L2 достаточно мало по сравнению с L1 и L3, и это положительно влияет на распределение токов при коммутации.

Характеристики

Внутренняя индуктивность модуля

На рис. 13 показана структура модели для определения индуктивности новой шины. Чтобы избавиться от влияния внешних соединений, к силовым выводам подключена широкая многослойная шина.

По результатам моделирования была получена внутренняя индуктивность модуля

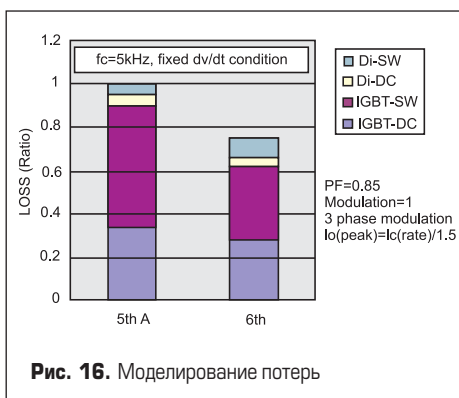


Рис. 16. Моделирование потерь



Рис. 14. Результаты измерений

между положительным и отрицательным выводами — 5, 18 нГн при 1 МГц. На рис. 15 показана схема тестовой цепи для проверки значения внутренней индуктивности. Один модуль (CM1400DU-24NF) коммутирует ток 1500 А и является источником di/dt; исследуемый модуль подключен последовательно, и на нем измеряется перенапряжение, возникающее между положительным и отрицательным выводами. Индуктивность внутренней шины рассчитана по осциллограмме, приведенной на рис. 14.

Индуктивность рассчитана, исходя из следующих данных: di/dt — 9,375 А/нс; Vpn (перенапряжение между P и N выводами) — 52 В; Vce(sat) — 1,37 В @ Ic = 500 А; (Vpn - Vce(sat) × 2) / (di/dt) = 5,25 нГн.

Данное значение эквивалентно полученному при моделировании.

Характеристики 6-го поколения кристаллов IGBT (1200 В и 1700 В)

В модулях использованы кристаллы последнего поколения, разработанные компанией Mitsubishi Electric. Отличительной особенностью этого поколения является расширение диапазона рабочих температур до 150 °С. Также значительно уменьшены потери. Так, для модулей на 1200 В значение Vce(sat) уменьшено на 0,7 В по сравнению с 5-м поколением. На рис. 16 показаны результаты расчета потерь в новом и предыдущем поколении

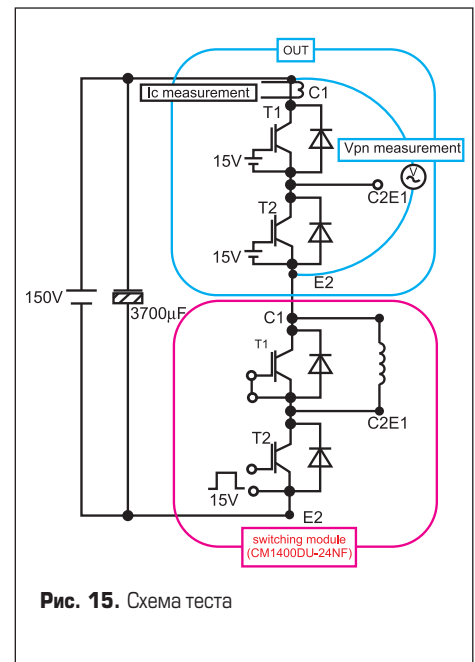


Рис. 15. Схема теста

кристаллов IGBT при идентичных условиях. Видно, что при переходе на новое поколение потери уменьшаются на 25%.

Также в данном корпусе будет выпущен модуль на 1800 А/1700 В, в нем также будут использованы кристаллы 6-го поколения. На рис. 17 показано соотношение между статическими Vce(sat) и динамическими Eoff потерями в кристаллах 6-го поколения на 1700 В.

Заключение

Компанией Mitsubishi Electric разработан новый полумостовой модуль на 2500 А/1200 В. В модуле используется новая 4-слойная шина с очень низкой индуктивностью. Модуль обладает низким тепловым сопротивлением и прекрасно подходит для жидкостного охлаждения. Благодаря новой технологии, обеспечивающей непосредственное соединение изоляционной керамики и алюминиевого основания, обеспечивается высокая стойкость к термоциклам.

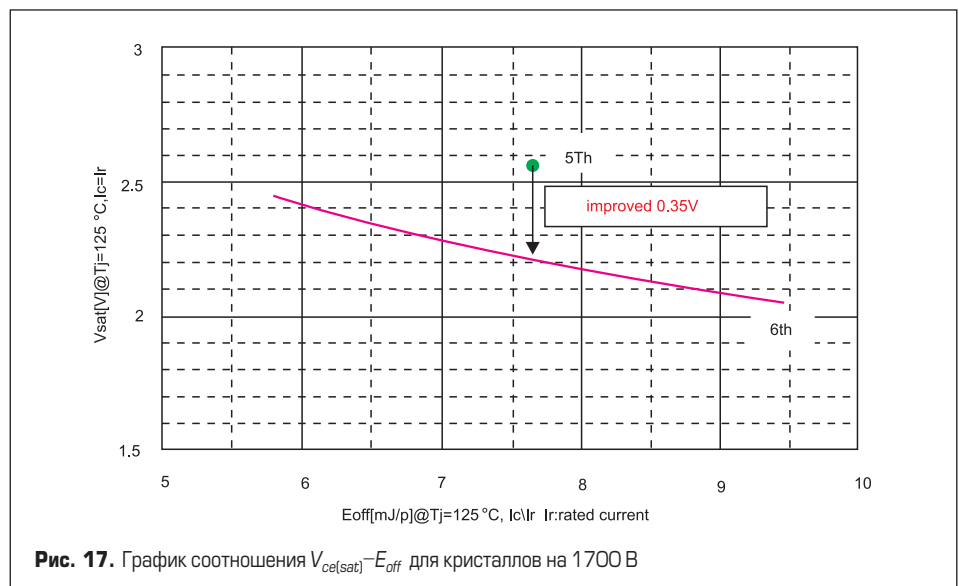


Рис. 17. График соотношения Vce(sat) - Eoff для кристаллов на 1700 В